



TITLE:

Bayesian Damage Detection for Vibration Based Bridge Health Monitoring(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Goi, Yoshinao

CITATION:

Goi, Yoshinao. Bayesian Damage Detection for Vibration Based Bridge Health Monitoring.
京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21080>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-12-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	五井 良直
論文題目	Bayesian Damage Detection for Vibration Based Bridge Health Monitoring (振動計測による橋梁ヘルスマニタリングのためのベイズ的損傷検知)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、橋梁の維持管理において迅速な意思決定を可能とする実践的な基準として、「観測値から一意に算出され、橋梁振動特性に関する煩雑な検討を必要としない“簡便さ”」、「先行研究の結果と同程度以上の感度を実現する“鋭敏さ”」、「統計的仮説検定に基づいた客観的な損傷診断基準をもつ“客観性”」を備えた損傷指示指標の開発を研究目的としている。</p> <p>研究目的の実現に向けて、実稼働モード解析理論の拡張による合理的な特徴抽出手法を検討し、そのうえでベイズ統計に基づく機械学習および仮説検定の枠組みを新規に提案している。特に、振動特性の変動を鋭敏に反映できる損傷検知手順として、「健全とみなす橋梁の加速度応答から同定される振動特性に係る動力学モデルの構築」と「新たに得られた加速度により同定される動力学モデルとの比較による異常有無判別」の二段階の異常検知手法を提案している。また、提案手法の妥当性については、実橋梁での損傷実験により検証している。</p> <p>以上の内容をまとめた本論文は全 8 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究背景と目的について述べ、橋梁ヘルスマニタリングを実現するための課題についてまとめている。また、検証実験の対象橋梁 3 橋のうち第 3 章、5 章、6 章で検討されるトラス橋の損傷実験について示している。</p> <p>第 2 章では、ベイズ的アプローチのための数学モデルおよび異常検知のための特徴量に関わる線形システムモデルの数学的モデルについて述べている。また、新しい提案である、ベイズ理論と線形システム理論を融合したベイズ的線形システムの理論的背景についても示している。</p> <p>第 3 章では、ベイズモード同定法を含む常時振動データの構造同定法を整理するとともに、機械学習アルゴリズムの開発に向けた動力学モデルの定式化について示している。また、特徴量抽出に関わる最適線形モデル選択についても検討を行い、最適モデル化におけるベイズ情報量基準の有効性を明らかにした。</p> <p>第 4 章では、実稼働モード解析の実橋梁への適応例として、強風時だけ現れる斜張橋の特異な振動モードを対象に、統計的な不確かさを考慮できるベイズモード解析を行った。その結果、モード応答の振幅と観測誤差の比として定義される S/N 比がモード同定における観測データの質を直接評価する指標となりうることを示している。</p> <p>第 5 章では、単変量の自己回帰モデルを用いた既往の損傷指示指標の問題点を解決すべく、多変量自己回帰モデルへ拡張した二段階の損傷検知手法の有用性について検討を行った。実橋梁における損傷実験の結果から、新たに提案した損傷検知手法の損傷に対する感度が先行研究に比べて同程度以上であることを明らかにした。</p> <p>第 6 章では、動的モデル構築、特徴抽出、仮説検定の手順を、ベイズ統計を用いた一般的な方法論へと拡張し、損傷による振動特性の変動をより簡便かつ鋭敏に検知する指標の提案に成功した。</p> <p>第 7 章では、6 章で検証された損傷指標の有効性を、ニーズの高い鋼板桁橋の疲労損傷検知へ適用し、提案手法が鋼板桁橋の局所部損傷検知への適用が可能であることを明らかにした。</p> <p>第 8 章は結論であり、本論文で得られた成果および残された課題について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、老朽化や劣化による橋梁構造物の損傷を定量的かつ合理的に検知するために、供用中橋梁の常時振動に着目した損傷検知手法を提案し、実橋梁での損傷実験により提案手法を検証した結果を取りまとめたものである。具体的には、常時振動に潜んでいる橋梁の健全性に関わる情報を感度良く同定できる特徴量の提案とベイズ確率論に基づいた新しい損傷検知理論を提案している。一連の研究より得られた成果は次のとおりである。

1. ベイズ的異常検知における数学モデルについて検討を行い、ベイズ理論と線形システム理論を融合したベイズ的線形システムの理論を提案している。特に、機械学習アルゴリズムの開発に向けた動力学モデルの定式化と、特徴量抽出に関わる最適線形モデルの選択について検討を行い、最適モデル化におけるベイズ情報量基準の有効性を明らかにしている。
2. 実稼働モード解析の実橋梁への適応例として、強風時だけ現れる斜張橋の特異な振動モードを対象に、統計的な不確かさを考慮できるベイズモード解析を行った。その結果、モード応答の振幅と観測誤差の比として定義される S/N 比がモード同定における観測データの質を直接評価する指標となりうることを示している。
3. センサ間の相関までを損傷検知の情報として考慮できる多変量自己回帰モデルによる二段階の損傷検知手法を提案し、実橋梁における損傷実験の結果からその有用性を確認している。新たに提案した損傷検知手法の損傷に対する感度が先行研究に比べて同程以上であることを明らかにした。
4. 動的モデル構築、特徴抽出、仮説検定の手順をベイズ統計に基づいた一般的な方法論へと拡張し、振動特性の変動をより簡便かつ鋭敏に検知する指標の提案に成功している。さらに、橋梁ヘルスマニタリングへのニーズの高い鋼板桁橋の局所部損傷検知にも適用可能であることを明らかにしている。

以上、本論文は、今まで開発が望まれた「簡便さ、鋭敏さ、客観性」を備えた損傷指示指標の提案に成功し、橋梁維持管理において迅速な意思決定を可能とする実践的な手法を提案している。特にベイズ統計を損傷検知へ拡張した試みは独創的で、また学術的の新規性も高い。さらに、高度成長期に数多く建設された我が国の道路橋の老朽化が急速に進行していることを勘案すると、その研究成果の社会的な意義は大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。